LE SATELLITE SMOS VOLE DEPUIS 10 ANS

Le 2 novembre 2019 a marqué le dixième anniversaire du lancement de la mission spatiale SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity). Le satellite, lancé initialement pour 3 ans, fonctionne encore très bien : 5 années supplémentaires d'exploitation ont été programmées.

SMOS est en orbite depuis une décennie. Ce remarquable satellite a non seulement dépassé sa durée de vie prévue en orbite, mais il a aussi dépassé ses objectifs scientifiques initiaux. Il a été conçu pour fournir des données sur l'humidité du sol et la salinité des océans, qui sont deux composantes cruciales du cycle de l'eau sur Terre. En cartographiant constamment ces variables, SMOS fait non seulement progresser notre compréhension du cycle de l'eau et des processus d'échange entre la surface de la Terre et l'atmosphère, mais contribue également à améliorer les prévisions météorologiques et à alimenter la recherche climatique ainsi qu'un nombre croissant d'applications pratiques quotidiennes.

SMOS a été décidé par l'ASE (Agence Spatiale Européenne) dans le cadre des missions

d'opportunité du programme Earth Explorer de l'Agence, avec des contributions importantes du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) et de l'autorité spatiale espagnole (le Centro Para el Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI).

Les atouts de la proposition SMOS

Le nom même du satellite résume bien les objectifs, fortement reliés au cycle de l'eau. En effet, la salinité à la surface de l'océan (SSS, Sea Surface Salinity) est une variable climatique essentielle (ECV, Essential Climate Variable) aux interventions multiples : acteur essentiel des échanges océan-atmosphère et de la circulation océanique et témoin des flux d'eau douce échangés entre l'océan et les réservoirs d'eau terrestres (atmosphère, continents, cryosphère). L'humidité de surface (SSM, Surface Soil Moisture) est également reconnue comme une ECV : quantité incontournable en matière de prévision du temps, sa qualité de condition aux limites terre-atmosphère lui assigne un rôle de premier plan dans de multiples processus et applications.

La solution technique retenue pour cette mission est hardie : l'instrument emporté par SMOS, un radiomètre opérant dans la bande L des microondes (1,4 GHz), utilise un aérien interférométrique, le seul spatialisé à ce jour. Les 69 éléments de l'interféromètre sont répartis le long de 3 bras. On peut ainsi atteindre (au prix d'une complexité sur le traitement des données) une résolution angulaire équivalente à celle d'une antenne réelle de 8 mètres de diamètre, et cela moyennant un poids et un encombrement acceptables pour un satellite de taille modeste.

Qui plus est, l'interféromètre est un imageur bidimensionnel, de sorte que le rayonnement thermique issu de chaque point à la surface peut être mesuré, à mesure que le satellite décrit sa trajectoire, selon une gamme d'angles d'incidence. Cet avantage, unique, donne accès à l'épaisseur optique de la zone atmosphérique traversée, c'est-à-dire pour l'essentiel celle du couvert végétal (VOD, Vegetation Optical Depth).

SMOS est un démonstrateur

De par leur nature, les informations recueillies par SMOS ont vocation à être rendues disponibles de façon permanente. Dès le départ, SMOS a été considéré comme un démonstrateur destiné à développer des filières, à mettre au point des produits construits sur la durée et les rendre accessibles de façon opérationnelle. Le Centre Aval de Traitement des Données SMOS (CATDS), implanté au sein de l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), met en œuvre ces activités.
> Earth seen by SMOS

Sur les terres émergées

Les mesures de l'humidité de surface ont montré leur capacité à fournir des informations sur l'humidité dans la zone racinaire et d'en déduire un indicateur de sécheresse. De ce fait, elles permettent de gagner un temps important (plus d'un mois) sur les prévisions de récolte et d'aider au pilotage de l'irrigation (sur les grands périmètres irrigués). Les apports aux prévisions de crues soudaines sont réels et prometteurs, bien que limités par la résolution spatiale souvent inadéquate. Il en va de même de l'évaluation de risques de feux de forêt, qui donne cependant déjà lieu à des applications opérationnelles. De manière inattendue la mesure d'humidité de surface permet également d'améliorer de façon significative les estimations de précipitation obtenues par les satellites dédiés.

Finalement, après 7 ans de travail, notamment la construction d'une chaîne spécifique et d'un traitement accéléré fournissant des humidités en temps quasi réel, les données de SMOS sont, depuis juin 2019, assimilées dans le système de prévision du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (CEPMMT) et servent ainsi à améliorer les prévisions météorologiques.

Enfin, l'épaisseur optique de la végétation déduite des données permet de suivre l' évolution du couvert végétal, ce qui ouvre des perspectives sur le suivi des ressources végétales. Elle constitue aussi un outil pour l'estimation de la biomasse forestière. Elle contribue de plus à l'évaluation des stocks et flux de carbone, en réduisant fortement l'incertitude sur ces quantités, et cela jusqu'à des densités de 300 t/ha.

Sur l'océan

Mesurer la salinité depuis l'espace est un énorme défi technologique, tant la précision radiométrique requise est exigeante. Le projet européen, suivi par deux autres missions - Aquarius et SMAP (Soil Moisture Active Passive) - a démontré que c'était possible. SMOS fournit la plus longue série temporelle de SSS à ce jour, y compris l' échantillonnage d'événements El Niño et La Niña (1) .

SMOS permet de cartographier l'extension des panaches de fleuves, où l'épaisseur de la couche de surface océanique, qui conditionne les échanges avec l'atmosphère, est contrôlée par la SSS (couche barrière). Combinée aux autres mesures satellitaires et in-situ (température de surface, couleur de l'eau, courants, pluie), la SSS permet d' améliorer le suivi des précipitations au-dessus de l'océan, de détecter des modifications des flux d'eau douce et de la circulation océanique reliées aux événements climatiques tels qu'El Niño, de caractériser les masses d'eau transportées à la surface de l'océan par

les tourbillons, notamment entre les eaux côtières et les eaux du large ou au travers de grands bassins océaniques. L’assimilation, dans des modèles, de la salinité déduite des mesures SMOS améliore la simulation des événements El Niño.

Enfin, mieux caractériser l’origine et l’évolution des masses d’eau à la surface de l’océan permet notamment de mieux contraindre les processus à l’origine de la variabilité observée des flux air-mer de CO2 à l’échelle régionale, ainsi que l’alcalinité de l’eau de mer.

Sur la neige et la glace

La communauté scientifique travaillant sur la cryosphère a rejoint les utilisateurs de SMOS et explore plusieurs pistes. Ainsi les données de température de brillance angulaires sont assimilées dans des modèles de prévision de l'épaisseur de la glace de mer ; elles améliorent substantiellement les performances pour les épaisseurs faibles (<0. 5m).

Concernant les séquences de gel/dégel, la radiométrie en bande L permet une détection simple et robuste de l'état de la surface. Compte tenu des signes récents d'évolution du pergélisol, cette surveillance est de plus en plus nécessaire et permet, avec d’autres capteurs, de quantifier les émissions de gaz à effet de serre de ces zones péri arctiques.

De même, la bande L permet d'accéder à des profondeurs importantes dans les calottes glaciaires et informe sur l'intensité des événements de fonte saisonnière dans les profondeurs du Groenland, ainsi que sur la température interne de la calotte antarctique.

Et encore

Très peu affectées par la traversée de l'atmosphère, les mesures en bande L donnent accès aux vitesses de vents extrêmement forts sous les cyclones, là où les autres instruments saturent ou sont aveuglés par l’eau atmosphérique.

Dans le même temps, la capacité du radiomètre à mesurer toutes les composantes polarimétriques des ondes reçues permet d'estimer le contenu total électronique de l'ionosphère, une retombée tout à fait inattendue.

La VOD quant à elle permet de quantifier l'évolution des stocks de carbone dans la biomasse des zones semi-arides, à prendre en compte dans l'inventaire global des puits et sources de carbone.

Il faudra faire mieux

Eu égard aux contraintes imposées par la plateforme et les moyens techniques et financiers disponibles, la mission a été optimisée. Pourtant, quelques points de faiblesse ont été identifiés. Ainsi, de nombreuses erreurs systématiques sont aujourd'hui repérées, corrigées soigneusement et de façon satisfaisante, mais parfois selon une approche qui reste empirique. Par ailleurs, alors que SMOS utilise une bande de fréquences totalement protégée et réservée à des observations astronomiques, de forts signaux parasites, dus à l'activité humaine (RFI, Radio Frequency Interference), détériorent souvent le signal.

Enfin la résolution spatiale, liée à la résolution angulaire et doncin fineà la taille de l'antenne, laisse sur leur faim beaucoup d'utilisateurs qui rêvent de descendre à une résolution inférieure à 10 km. Souvent, on surmonte cette limitation sur les terres émergées en combinant les données SMOS (de résolution typique 40 km) avec des données optiques ou thermiques, mais on aimerait aller plus loin.

Sur ces points, on attend donc des successeurs de SMOS qu'ils aillent au-delà des performances du démonstrateur.

Les travaux au sein de l'IPSL

L'intérêt pour SMOS de l'Institut s'est manifesté dès l'origine, puisqu'un chercheur du LATMOS (2) a substantiellement participé, aux côtés de l'investigateur principal Yann Kerr, à l'écriture de la proposition initiale en 1997. Plus tard des chercheurs du LATMOS ont contribué à apporter à la théorie de la mesure quelques chaînons qui y manquaient. Un radiomètre aéroporté (CAROLS) consacré à la validation de la mesure a été proposé et réalisé, puis utilisé dans plusieurs campagnes de l'avion de recherches météorologiques. Le potentiel consacré à SMOS s'est enrichi dès 1999 d'un apport croissant du LOCEAN (3) , puis d'un partenariat avec la société ACRI-st. Une collaboration étroite entre ces partenaires a vu le jour pour mettre en place et optimiser les outils utilisés aujourd’hui encore pour l’inversion des mesures SMOS, pour organiser des campagnes en support aux activités d’étalonnage validation et à des fins de recherches scientifiques. Le projet Climate Change Initiative SSS de l’ASE est de plus coordonné par le LOCEAN et l’IFREMER.

Ce n’était qu’un début. Aujourd’hui, la diversité des recherches et applications associées à SMOS se reflète dans le fait que, progressivement, plus de la moitié des laboratoires de l’IPSL s’est impliquée dans le projet, et se retrouvent dans la bibliographie. Qu'il s'agisse de SMOS ou de sa postérité, tous en route pour le 20ème anniversaire !

> Institut Pierre-Simon Laplace
> Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales
> Laboratoire d'Océanographie et du Climat

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

En savoir plus
> le blog SMOS
> la liste des publications utilisant les données SMOS/CATDS

Notes
El Niño et La Niña sont respectivement les phases chaudes et froides d'un mode climatique récurrent dans le Pacifique tropical, aussi appelé El Niño-Oscillation Australe (ENSO). Il résulte de fortes interactions entre l'océan et l'atmosphère et a des répercussions à l'échelle planétaire. Les évènements La Niña en 2010-2011 et El Niño en 2015 sont les plus marqués parmi ceux observés jusqu'ici au 21eme siècle.
Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS-IPSL, CNRS / UVSQ / Sorbonne Université)
Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques (LOCEAN-IPSL, CNRS / Sorbonne Université / IRD / MNHN)

Contacts
Jacqueline Boutin, LOCEAN, Tél. : 01 44 27 47 65
Philippe Waldteufel, LATMOS, Tél. : 06 13 82 24 92